

乗り捨て型カーシェアの利用効率向上のための車両再配置手法

A Vehicle Relocation Method for Improving Utilization Efficiency of One-Way Car Sharing

佐瀬 凌太[†] 藤本 まなと[†] 諏訪 博彦[‡] 安本 慶一[†]
Ryota Saze Manato Fujimoto Hirohiko Suwa Keiichi Yasumoto

1. はじめに

近年、既存の交通手段に代わる持続可能なモビリティとして Electric Car Sharing service (以下、ECS) が注目を集めている [1]。ECS は、個人が移動のために自動車を持する必要性をなくし、サービスとして享受できるようにする Mobility As A Service として大きな可能性を秘めている。日本では、車両を借りたステーションに車両を戻すラウンドトリップ型と呼ばれる方式がレンタカーサービスとして主流であったが、近頃は借りたステーションとは違う場所にカーシェア車両を返却できる乗り捨て型カーシェアの普及が検討されている。

乗り捨て型カーシェアは、利用者に柔軟な利用形態を提供できる一方、高い利用効率を実現するには、車両偏在問題の解決が必要となる。車両偏在問題とは、利用者の利用要求が時間・場所によって異なることで発生する特定の場所に車両が集中してしまう現象である。具体例として、平日の通勤・退勤ラッシュの時間帯が挙げられる。この時間帯は、駅から仕事場、あるいは仕事場から駅のどちらかの需要が非常に大きくなるのに対して、その逆の需要はあまり高くない。これによって、利用したいという需要を満たしきれないという問題が発生する他、車両が集中した場所でも駐車スペース不足という問題が発生する。この問題の解決策として、車両の再配置を行うという方法がある。この車両再配置によるカーシェア利用効率の最大化を行うには、車両再配置を行う人員を確保する他、その時点での車両配置・予約状況等に合わせた最適な車両分布を算出する必要がある。

車両再配置を行う方法については、主に 2 種類の手法が提案されている。一つは、サービスオペレータが雇用したディスパッチャと呼ばれるスタッフが再配置を行うオペレータベースと呼ばれる手法である。オペレータベースでは、再配置をディスパッチャが確実に実行するため、安定した再配置を実現できる。しかし、ディスパッチャの雇用コスト・配置も考慮しなければいけないというデメリットが存在している。これに対する車両再配置のもう一つの手法が、潜在的利用者に依頼することで再配置

を行うユーザベースと呼ばれる手法である。潜在的利用者とは、カーシェアサービスの利用予約を行っていないが将来的に予約を行う可能性がある利用者、またはサービスオペレータからの依頼に応じて再配置を行う意思がある利用者のことである。ユーザベースでは、オペレータベースのデメリットであったディスパッチャの雇用コスト・配置という課題を解決できる。

一方、車両の再配置を行った場合に移動元のステーションでのユーザの利用要求が満たされなくなる場合がある。そのため、利用効率を向上させるには、元のステーションでの利用を損なうことなく新しい需要を満たすことができるような再配置を行う必要がある。従来研究では、オペレータベース・ユーザベースの車両再配置について様々な手法が提案され、多くのシミュレーションが実施されてきたが、実世界のカーシェアリングサービスでの実証実験を行った研究は多くない。

本研究では、実在するカーシェアサービスである奈良先端科学技術大学院大学が保有する NAIST カーシェアリング (以下 NAIST カーシェアと記す) [2] から得られた利用データに基づいて、乗り捨て型カーシェアにおける利用効率を向上させるユーザベースの車両再配置手法を提案することを目指す。提案手法は、過去の NAIST カーシェアデータから得られたユーザの利用傾向に基づいて最適な車両再配置を提案する機械学習モデルを作成し、このモデルに基づいて NAIST カーシェアにおける利用効率を向上させるものである。本研究の貢献は、以下の 2 点である。

1. リアルタイムに稼働している実世界のカーシェアシステムである NAIST カーシェアにおいて、ユーザの利用形態の基礎解析に基づいてユーザの利用を予測する機械学習モデルを作成する。
2. モデルを適用することでカーシェアサービス全体の利用効率を向上させるユーザベースの車両再配置手法を提案する。

2. 先行研究

乗り捨て型カーシェアにおける車両再配置手法についてはいくつかの先行研究が存在している。千住ら [3] は、車両偏在問題に対してユーザベースの再配置を行う中で最小の再配置依頼 (依頼トリップ) で利用者の利用要求

[†] 奈良先端科学技術大学院大学, Nara Institute of Science and Technology

[‡] 理化学研究所 革新知能統合研究センター (AIP), RIKEN, Center for Advanced Intelligence Project (AIP)

(要求トリップ)の成立数(トリップ成立数)を最大化する手法を提案している。この研究では、小規模なワンウェイカーシェアリングシステムのモデルを構築した上でシミュレーションを行っており、ユーザへの再配置依頼によってユーザからの利用要求の受諾率が改善されることを確認している。しかし、この研究では実世界で収集されたデータを用いたシミュレーションが行われていない他、要求トリップが不成立となった場合に再配置が行われているため利用する直前に予約が行われた場合再配置を手配することができないという問題が存在する。

Yang[4]らは、ワンウェイカーシェアリングにおける車両再配置の中でもオペレータベースの車両再配置手法について、カーシェア車両とディスパッチャ両方の配置を最適化するための統合モデルが提案している。この研究の中では、ユーザからの利用需要が多いほど低いコストで再配置を行うことができる一方で、車両数が大きくなると駐車スペースの容量が原因で必要な再配置タスクが多くなることが示されていた。そのため、ワンウェイカーシェアの運用では経済的な車両数・駐車容量を決定することが重要となると結論付けられている。

Tiziana Campisi[5]らは、大学生の住民が多く割合を占めているイタリアのエンナを対象にカーシェアリングサービスの導入可能性を議論している。この研究の中では大学生に対して紙媒体及びインターネットを通じたカーシェアリング利用傾向の調査を行い、その結果を分析している。分析結果からいくつかのユーザ特性(性別等)とカーシェア利用(サブスクリプションへの登録等)に相関関係があることを示し、シェアリングモビリティの普及のための潜在的顧客を考慮した方策の策定に貢献している。

Wang[6]らは、中国におけるカーシェアデータを定性的・定量的に解析することでユーザ嗜好を理解し、それらの解析結果を使ってユーザのカーシェア利用を予測するモデルの構築が行っている。この研究の中で提案されたBeXGBoostは、ユーザ利用データの解析結果から得られた知見を利用して抽出された特徴量を用いることで、従来研究の中で提案されていた利用予測モデルより高い性能を示した。

本研究では、まず実世界のカーシェアサービスであるNAISTカーシェアから得られる利用者データを解析し、ユーザの利用嗜好及びユーザベース再配置の有効性の調査を行う。その後、それらのデータ・解析結果から得られる知見を利用して車両再配置手法を提案することを目指す。提案手法では、今後実際のNAISTカーシェアを模したシミュレーション及び実際のシステムへの実装実験によって評価を行っていく予定である。



図1: 各サービスステーションの位置関係

3. NAISTカーシェア

本章では、NAISTカーシェアのシステム概要及びその利用形態について説明する。

3.1 システム概要

NAISTカーシェアは、現在3台の電気自動車、3箇所のサービスステーション(駐車位置)で稼働している乗り捨て型カーシェアリングシステムである。具体的には、カーシェア車両として三菱自動車のi-MiEV2台、BMW1台を運用し、奈良先端科学技術大学院大学、学研美ヶ丘駅、けいはんなプラザにサービスステーションを展開している。図1に各サービスステーションの位置関係を示す。サービス利用するユーザとしては奈良先端大に所属する利用申請を行った教職員・学生の2種類が存在する。

3.2 カーシェア利用予約

NAISTカーシェアの利用予約は、専用のWebサイトを通じて行われ、ユーザに付与されるトークンを使ったオークション形式となっている。具体的な手順を以下に示す。

1. ユーザは1週間毎に7トークンを付与される。
2. 使用を開始したい駐車場・タイムスロットに対して、任意の量のトークンをbidする。タイムスロットは、20分で1つとなっている。bidの際には、利用を開始したいステーション、利用する時間、利用を開始したいタイムスロット、そのタイムスロットに対して入札するbidの量を入力する。
3. タイムスロットの開始時間までに行われていたbidに対して、最もbidしたトークン量が多かったbidが勝者として選択され、車両の使用権を獲得する。
4. 勝者は指定した20分のタイムスロットの間で車両の使用を開始する。

表 1: NAIST カーシェアにおける各月毎の分析結果

年/月	利用要求数	要求達成数	利用要求達成率	車両不在数	再配置可能数	再配置後の達成率
2020/06	145	132	0.91	9	8	0.97
2020/07	187	151	0.81	33	23	0.93
2020/08	125	109	0.87	15	4	0.90
2020/09	179	148	0.83	24	11	0.89
2020/10	205	139	0.68	55	19	0.77
2020/11	143	119	0.83	18	12	0.92
2020/12	194	158	0.81	31	22	0.93
2021/01	195	152	0.78	37	10	0.83
2020/02	166	141	0.85	19	3	0.87
2020/03	213	192	0.90	16	5	0.92
2020/04	217	201	0.92	11	3	0.94
2020/05	214	164	0.77	44	36	0.93
2020/06	388	245	0.63	102	18	0.68

5. 車両の使用後は任意のステーションへ車両を返却する。
6. 駐車場への駐車が完了した時点でトークンの支払が発生する。

4. NAIST カーシェアシステムの基礎分析

本章では NAIST カーシェアサービスにおけるユーザーベースの車両再配置の有効性・実現可能性を検証するために行った基礎解析について説明する。

4.1 カーシェアデータのフォーマット

今回分析対象とした NAIST カーシェアのデータフォーマットは以下のようにになっている。なお、本研究では 2020 年 6 月から 2021 年 6 月までのデータから基礎解析を行った。

- 利用者のオークション情報データ (json ファイル)
 - slot: bid の対象となっているタイムスロット
 - formatted_slot: slot のフォーマット表記
 - status: オークションの状態
 - history: 入札履歴
 - bidder: bid したユーザーの ID
 - bid: bid に使用されたトークンの数
 - parking_lot: bid の対象ステーション
 - winners: オークションの勝者の情報
 - winner: オークション勝者の ID
 - bidprice: 勝者が bid していたトークンの数
 - targetcar: 勝者が獲得した車両の ID

- 車両の利用履歴 (CSV ファイル)

wallet_address: 利用したユーザーの wallet ID
 started_at: 車両の利用が開始された時間
 ended_at: 車両の利用が終了された時間
 from_parking_at: 利用を開始したステーション
 to_parking_at: 利用を終了したステーション
 car: 利用した車両の ID

4.2 ユーザからの利用要求達成率

まず、現在の NAIST カーシェアではユーザーからの利用要求をどの程度満たすことができているのかを確認するために、過去の利用データの中でのユーザーの利用要求達成率について分析を行った。

表 1 の左側 4 カラムに NAIST カーシェアにおける 2020 年 6 月から 2021 年 6 月までの各月ごとのユーザーからの「利用要求数」、利用要求を達成できた数である「要求達成数」、利用要求数のなかの達成数の割合を示す「要求達成率」、ユーザーが利用要求を出した際に利用可能な車両がステーションに存在しなかった回数を示す「車両不在数」を示す。分析結果から、NAIST カーシェアでは平均して 80 % 程の利用要求達成率となっていることが分かった。一方で直近の 2 ヶ月間の利用要求達成率はデータ全体の平均よりも低くなっており、かつ減少傾向となっていた。NAIST カーシェアのウェブサイト内ではこの原因として、3 月度に卒業によってユーザー数が減少したことで利用要求が通りやすくなったが、6 月度からは入学生の利用者が増加したことで利用要求が重なりやすくなり、利用要求達成率が減少したと考察されていた。また、車両不在数に関しても 3 月度と比較して 8 倍近い大幅な増加が確認された。この結果からもユーザー

ザの利用要求達成率の改善は必要であると言える。

4.3 再配置の有効性確認

次に、NAIST カーシェアにおいて車両再配置が利用要求達成率を改善するためにどの程度の効果があるのかを確認するために、過去の利用データでの車両不在数を車両再配置によってどの程度改善することができるかについて分析を行った。本分析では再配置によって車両不在を改善できる条件として、以下の2つを設けた。

1. 車両不在が発生している1つ前のタイムスロットで、ある車両Vが利用されていない。
2. 車両不在が発生しているタイムスロットから3時間(9タイムスロット分)の間に車両Vが利用されていない。

これらの条件は、ステーション間の再配置を20分(1タイムスロット分)で行えると仮定して、再配置を行う時間が存在していること、車両の再配置によって他のユーザの利用が妨げられていないことを保証するために設定されている。

表1右側2カラムにNAISTカーシェアにおける各月の車両再配置によって解決可能な車両不在数である「再配置可能数」、および車両再配置を行った場合の利用要求達成率である「再配置後の達成率」を示す。また、図2に車両再配置を行う前後の利用要求達成率を比較した結果を示す。結果より、全ての月に車両再配置によって解決できる可能性がある車両不在が存在し、仮にそれらを解決できた場合利用要求達成率の平均値を約88%まで改善することができることが確認できた。これらは著者らが設定した条件の中で解決可能な車両不在であり、実際は利用予約が入っているか、再配置を行うユーザを確保できるかといった問題を考慮する必要がある。しかし、車両再配置による利用要求達成率の改善可能性は十分に存在すると言える。

4.4 ユーザ利用の予測可能性

効率的な車両再配置を行うためには、ユーザの利用行動を予測して近い未来の車両配置を予測し、それを見越した車両の再配置を行う必要がある。そのため、過去の利用データの中でのユーザの利用行動の予測可能性についての分析を行った。ユーザの目的地・利用時間を推定することができれば、最適な再配置を行える可能性をより高めることができる。今回はWangらの研究で行われていたようにあるユーザがカーシェアを利用する際の、出発ステーションOが与えられた場合の目的地ステーションDの条件付きエントロピー $H(D|O)$ を算出した。このエントロピーが低いほど、出発地が分かっている状況でのユーザの目的地は予測しやすいということになる。

ここで算出した各ユーザのエントロピーについて、累積分布関数を示したものを図3に示す。

結果から、半数以上のユーザの行動がほぼ確実に予測可能であることが確認できた。これは、NAISTからNAISTへ使用するユーザが非常に多いことが影響しているためである。また、各ステーションがそれぞれ等しい確率で訪れられていた場合、エントロピーは約1.8という数字になる。それに対して9割近いユーザのエントロピーの値が1.5以下になっていることから、出発地が分かった場合多くのユーザの目的地は予測可能であると言える。加えて、利用開始時間を知ることができれば、さらに予測可能性が向上する可能性がある。

5. 提案手法

本章では、ユーザ利用データを用いた利用予測モデルに基づく車両再配置手法について提案する。

5.1 車両再配置手法

提案手法では、NAISTカーシェアから得られる利用データに基づいて乗り捨て型カーシェアにおける利用効率を向上させるユーザベースの車両再配置を行う。具体的には、過去のカーシェアデータを教師データとして未来の車両配置を予測する機械学習モデルを作成し、このユーザ利用予測モデルを用いて予測した車両配置の中で車両偏在が発生した場合に洗剤ユーザへ再配置を依頼する。

5.2 ユーザ利用予測モデル

ユーザ利用予測モデルは、あるユーザのカーシェア利用を開始したステーション・時間の情報から、そのユーザが利用を終了するステーション・時間を予測する機械学習モデルである。提案手法ではこのモデルの予測結果を保持することで、未来の車両配置を予測する。機械学習モデルでは、ランダムフォレストやXGBoostを使用する。

5.3 潜在ユーザの探索

提案手法における車両再配置を依頼する潜在ユーザの探索も、過去の利用データを基に行う。具体的には、過去の利用データの中から、再配置を行いたいステーション・タイムスロットで利用を行っているユーザを探索し、そのユーザへ向けて再配置依頼を行う。現在はWebサイトを通して車両の利用予約を行っていることから、ユーザに対して再配置を依頼するためのプラットフォームについても検討していく必要がある。

6. まとめ

本研究では、NAISTカーシェアから得られた利用データに基づいて乗り捨て型カーシェアにおける利用効率を

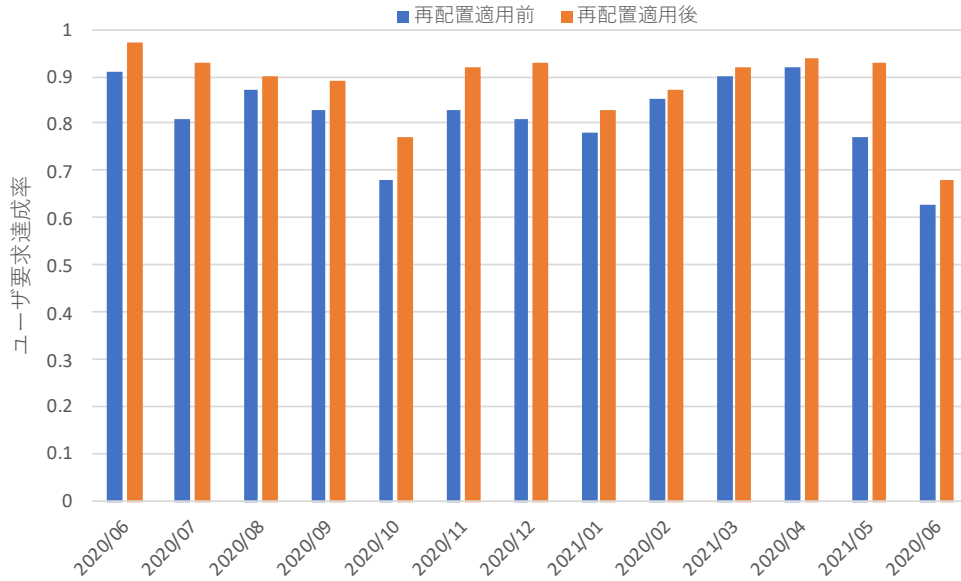


図 2: 車両再配置適用前後の利用要求達成率

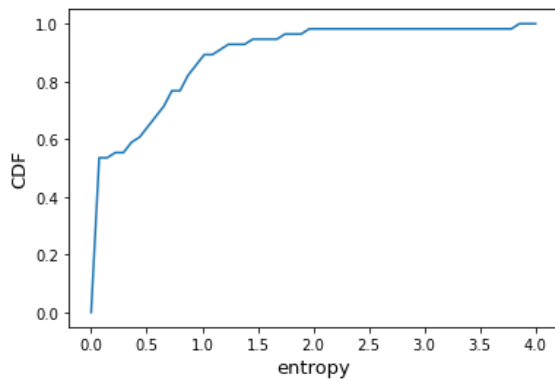


図 3: ユーザ毎のエントロピーの累積分布関数

向上させるユーザベースの車両再配置手法を提案することを目指して、まず NAIST カーシェアにおけるユーザ利用データの基礎解析を行った。基礎解析からは現在のカーシェアサービスにおけるユーザからの利用要求達成率が低減していることが確認でき、車両再配置によるこの問題の改善可能性が示された。加えて、ユーザ利用の予測可能性についても解析を行い、予測可能性が存在することを確認できた。また、利用開始時間が与えられることによる予測可能性への影響についても検討していく必要がある。

将来的な課題として、ユーザ利用データを使ったユーザ利用予測を行う機械学習モデルの作成、及び NAIST カーシェアを模したシミュレーション環境の構築が挙げられる。予測モデルの構築に関しては、予測可能性に関

する基礎解析結果を参考にする他、天気等のコンテキスト情報も考慮して構築していきたい。さらに、車両再配置におけるユーザの主観的な利用趣向の調査のために文献 [7] にあるようなユーザの嗜好調査についても同様に検討していきたい。

参考文献

- [1] 公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団. わが国のカーシェアリング車両台数と会員数の推移, 2021. <http://www.ecomo.or.jp/environment/carshare/carshare-graph2021.3.html>.
- [2] モビリティ社会システム実験用車両運営委員会. Naist カーシェアリング, 2021. <https://naist-carshare.github.io>.
- [3] 千住琴音, 諏訪博彦, 水本旭洋, 荒川豊, 安本慶一. ワンウェイカーシェアリング実現に向けた潜在的利用者による車両偏在問題の解決. 情報処理学会論文誌, Vol. 60, No. 10, pp. 1818–1828, oct 2019.
- [4] Shuang Yang, Jianjun Wu, Huijun Sun, Yunchao Qu, and Tongfei Li. Double-balanced relocation optimization of one-way car-sharing system with real-time requests. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 125, p. 103071, 2021.
- [5] Tiziana Campisi, Vincenza Torrisi, Matteo Ignaccolo, Giuseppe Inturri, and Giovanni Tesoriere.

University propensity assessment to car sharing services using mixed survey data: the italian case study of enna city. *Transportation Research Procedia*, Vol. 47, pp. 433–440, 2020.

[6] Guang Wang, Harsh Rajkumar Vaish, Huijun Sun, Jianjun Wu, Shuai Wang, and Desheng Zhang. Understanding user behavior in car sharing services through the lens of mobility: Mixing qualitative and quantitative studies. *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, Vol. 4, No. 4, pp. 1–30, December 2020.

[7] Riccardo Curtale, Feixiong Liao, and Peter van der Waerden. Understanding travel preferences for user-based relocation strategies of one-way electric car-sharing services. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 127, p. 103135, 2021.